

Основная причина высокой энергоэффективности подключения дополнительных тепловых нагрузок к ТЭЦ состоит в том то, что при любых планируемых приростах тепловых нагрузок при работе по действующему графику теплосети для любых расчетных температур наружного воздуха рост отопительной тепловой нагрузки, в среднем, лишь на 25-35 % обеспечивается за счет роста расхода теплоты сгораемого топлива в энергетических котлах, и на 60...80 % – за счет снижения потерь теплоты в конденсаторах турбин, работающих в течение всего года по электрическому графику. Такие условия работы характерны, например, для Кировской ТЭЦ-5, среднемесячные режимы работы турбин Т-185-130 которой и были взяты в качестве исходных, и для ТЭЦ всей России. В области малых тепловых нагрузок, когда регулирование осуществляется при полностью открытой РД ЧНД путем обвода части сетевой воды помимо верхнего или нижнего сетевых подогревателей, значение величины  $qr_{\text{доп}}$ , как показали расчеты применительно к турбине Т-185-130, находится в диапазоне 0,15...0,25. Следует ожидать, что и для турбин иных типов эта величина окажется в этом диапазоне.

Полученные в данном исследовании результаты имеют общий характер, то есть они инвариантны по отношению к типам теплофикационных паровых турбин и могут использоваться повсеместно, с учетом реальных условий загрузки оборудования ТЭЦ.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОКСИДОВ СЕРЫ ИЗ ОТХОДЯЩИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ГАЗОВ**

*Балдин В.Ю., Ярошенко Ю.Г.  
УрФУ  
ensav@mail.ustu.ru*

В большинстве развитых стран мира, а также в России существенно ограничен выброс серосодержащих газов без улавливания загрязняющих атмосферу веществ и, в частности, диоксида серы ( $SO_2$ ), выделяющегося при получении черновой меди из сульфидного сырья пирометаллургическим способом [1]. Извлечение этого опасного и, в то же время, ценного соединения позволяет производить, наряду с медью, серосодержащую продукцию. Отходящие газы большинства плавильных и конвертерных процессов с целью обезвреживания перерабатываются в сернокислотных цехах (СКЦ) путем утилизации  $SO_2$  за счет максимально полного окисления в триоксид серы ( $SO_3$ ) с последующей его абсорбцией.

Сернокислотное производство (СКП) является одним из самых распространенных, достаточно эффективных и технологически отработанных способов максимального извлечения  $SO_2$  из металлургических газов. За счет этого на 1 т производимой меди удастся получить до 2,5...5 т серной кислоты. Расширение медеплавильного производства в мире, повсеместная актуализация проблем

энерго- и ресурсосбережения заставляют искать все более совершенные решения, как в самом производстве меди, так и в технологиях и аппаратуре СКП.

Снижение энергоемкости сопутствующего СКП, составляющей до 30 % капитальных затрат, а также значительную долю эксплуатационных расходов, является не менее важной задачей, чем оптимизация энергопотребления традиционных технологий обжига медных концентратов и конвертирования медных штейнов основного производства.

Одним из перспективных путей решения современных энерго-, эколого- и экономических проблем является применение высокоэффективного пылеулавливающего и абсорбционного оборудования СКП. В данной работе представлено обобщение некоторых результатов промышленного применения абсорберов Вентури (АВ) и аппаратов ударно-инерционного действия с прямыми контактными каналами и внутренней циркуляцией жидкости (УИПК) для поглощения  $SO_3$  на ряде предприятий цветной металлургии [2].

Замена малоинтенсивных поверхностных (насадочных) скрубберов и абсорберов башенного типа на высокоскоростные массообменные аппараты позволяет увеличить производительность по газу промывного и сушильно-абсорбционного отделений СКЦ, стабилизировать режим их работы, снизить затраты энергии за счет постоянного гидравлического сопротивления системы в течение всего межремонтного периода эксплуатации и уменьшения объема циркулирующих кислот, повысить надежность очистки газов, улучшить экономические показатели производства, в том числе и путем реконструкции существующих классических полых и насадочных башен.

На предприятиях Урала: Красноуральский медеплавильный комбинат (КуМК), ныне - ОАО «Святогор»; Кировградский медькомбинат (КМК) [3]; и Казахстана - Балхашский горно-металлургический комбинат (БГМК), ныне - ПО «Балхашцветмет», в течение ряда лет были испытаны в промышленных условиях и эксплуатировались АВ [4] и олеумный аппарат УИПК [5].

Основные результаты испытаний этих аппаратов в СКП, работающих на отходящих газах медеплавильного производства, представлены в таблице.

Параметры	Абсорберы Вентури			Аппарат УИПК БГМК
	КуМК	КМК	БГМК	
Источник перерабатываемого газа	Обжиговая печь	Печи пылевидного обжига	Конвертеры	Конвертеры
Концентрация $SO_3$ начальная, об. %	7,01 (4,82-8,40)	7,53 (7,27-7,87)	2,90 (1,54-3,99)	3,29 (1,78-5,20)
Температура газа перед олеумным аппаратом, °С	86,2 (71-100)	232 (230-240)	107,5 (89-118,5)	94,5 (75-112)
Газовая нагрузка $V_r$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч (при рабочих условиях)	2,74 (1,84-4,67)	67,2 (52,6-75,0)	46,2 (37,0-58,9)	40,0 (37,0-46,2)
Количество извлеченного из газа $SO_3$ , кг/ч	323,13	6287,06	2219,74	2876,95
Скорость газа (в горловине АВ и контактном канале аппарата УИПК) $w_r$ , м/с	43,1 (29,5-73,5)	32,9 (25,8-36,7)	33,4 (26,7-42,5)	20,2 (18,7-23,3)

Параметры	Абсорберы Вентури			Аппарат УИПК БГМК
	КуМК	КМК	БГМК	
Гидравлическое сопротивление аппарата $\Delta P_a$ , кПа	2,13 (0,67-5,98)	1,42 (0,74-1,95)	1,78 (1,03-2,43)	0,99 (0,88-1,06)
Абсолютная полнота абсорбции $SO_3$ олеумом $\eta_a$ , %	78,9 (18,6-98,9)	62,1 (57,3-68,0)	64,7 (32,6-90,7)	78,8 (67,4-83,9)
Удельный расход абсорбента $m \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> газа (при рабочих условиях)	3,02 (0,97-6,23)	4,63 (3,68-6,33)	3,99 (3,21-5,09)	5,01 (3,46-5,54)
Энергозатраты на обработку 1000 м <sup>3</sup> газа $I_{\text{эн}}$ , кВт·ч/(1000 м <sup>3</sup> газа)	0,92 (0,36-2,18)	0,90 (0,70-1,22)	0,97 (0,80-1,12)	0,63 (0,54-0,68)
Удельный расход энергии на извлечение 1 кг/ч $SO_3$ из газа $I_{\text{эн,уд-1}}$ , кВт·ч/кг	0,0083	0,0096	0,0200	0,0089
Удельный расход энергии на извлечение 1 кг/ч целевого компонента и на 1000 м <sup>3</sup> газа $I_{\text{эн,уд-2}} \cdot 10^3$ , кВт·ч/(1000 м <sup>3</sup> ) на 1 кг/ч $SO_3$	2,92 (1,14-8,09)	0,14 (0,13-0,16)	0,51 (0,27-1,02)	0,22 (0,13-0,43)

*Примечание.* В скобках показан диапазон колебания значений по результатам испытаний.

Представленные данные показывают, что аппарат УИПК имеет более высокую абсолютную полноту поглощения триоксида серы (на 18...20 %), чем промышленные АВ, при меньших удельных затратах энергии на обработку 1000 м<sup>3</sup> газа и на извлечение целевого компонента  $SO_3$  из газовой смеси.

При этом энергозатраты  $I_{\text{эн}}$  для аппарата УИПК оказались во всех случаях в 1,4...1,5 раза ниже, чем в АВ, а удельные затраты энергии на 1000 м<sup>3</sup> газа и на извлечение 1 кг/ч  $SO_3$  в аппарате УИПК в 2,3 раза меньше, чем в АВ на БГМК.

Таким образом, из исследованных двух типов современных высокоинтенсивных массообменных аппаратов различного масштаба, применяемых для утилизации  $SO_2$  путем получения серной кислоты из отходящих газов цветной металлургии, что обеспечивает решение задач комплексного использования сырья и обезвреживания газовых выбросов, аппараты УИПК являются более эффективными с экологической, энергетической и экономической точек зрения.

#### *Библиографический список*

1. Вольхин А.И., Елисеев Е.Н., Жуков В.П. Черновая медь и серная кислота. В 2-х томах. Т. 2 / Под общ. ред. Е.Н. Елисеева. Челябинск: Полиграф. объединение «Книга», 2004. 378 с.
2. Increase of efficiency and decrease of power consumption in  $SO_3$  recycling from off-gas of pyrometallurgical processes / V. Baldin, Y. Gordon, Y. Yaroshenko // Proceedings of the Second International Symposium on Greenhouse Gases in the Metallurgical Industries – Policies, Abatement and Treatment. 43rd Annual Conference of Metallurgists of CIM. August 22-25, 2004, Hamilton, Ontario, Canada. P. 53-62.
3. Применение абсорберов Вентури в сернокислотном производстве / В.Ю. Балдин, Б.П. Волгин, Ф.С. Югай и др. // Цв. металлургия. 1979. № 20. С. 35-37.
4. Олеумный абсорбер Вентури для поглощения серного ангидрида из отходящих металлургических газов / В.Ю. Балдин, Б.П. Волгин, Ф.С. Югай и др. // Цв. металлургия. 1986. № 1. С. 37-39.
5. Повышение эффективности процесса массообмена в олеумном абсорбере / И.О. Гришков, В.И. Шапотайло, Ю.А. Савельев и др. // Цв. металлы. 1986. № 6. С. 39-42.